

61

Int. Cl.:

G 01 b

10/073-613

09.17.03

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



52

Deutsche Kl.: 42 b, 12/05

Rechtfertigung

10

11

21

22

43

# Offenlegungsschrift 1949 117

Aktenzeichen: P 19 49 117.9

Anmeldetag: 29. September 1969

Offenlegungstag: 2. April 1970

Ausstellungspriorität: —

30

Unionspriorität

32

Datum: 28. September 1968

33

Land: Japan

31

Aktenzeichen: 70538-68

54

Bezeichnung: Kontaktloses Abtastsystem

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha, Tokio

Vertreter: Hoffmann, Dr.-Ing. Erich; Eitle, Dipl.-Ing. Werner;  
Hoffmann, Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. Klaus;  
Patentanwälte, 8000 München

72

Als Erfinder benannt: Sugano, Tuomu; Kikuchi, Makoto; Fujisawa, Kanagawa (Japan)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —  
Prüfungsantrag gemäß § 28 b PatG ist gestellt

DT 1949 117

1949117

Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha, Tokyo /Japan

Kontaktloses Abtastsystem

Die Erfindung betrifft ein kontaktloses Abtastsystem zur Bestimmung der geometrischen Form eines zu messenden Gegenstands, welches eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Strahles parallelen Lichts, eine Linse zum Sammeln des Strahles parallelen Lichts der Lichtquelle auf einen Punkt auf der Oberfläche des Gegenstandes, ein Nadelloch, das den vom Punkt der Oberfläche des Gegenstands reflektierten Lichtstrahl aufnimmt und in einer Richtung im wesentlichen parallel zur optischen Achse des reflektierten Lichtstrahles schwingt, um die Intensität des reflektierten Lichtstrahles zu modulieren, sowie einen Lichtfühler zur Erfassung der Intensität des durch das Nadelloch modulierten Lichts und zur Erzeugung einer elektrischen Ausgangsgröße enthält.

-2-

009814/1489

Zur Bestimmung der geometrischen Abmessungen von Gegenständen sind Wiedergabegeräte, Oberflächenrauigkeits-Meßgeräte usw. bekannt geworden, die mechanische Abtaster benutzen. Um eine hohe Meßgenauigkeit zu erhalten, konnte der Durchmesser der Spitze des Abtasters verringert werden. Diese Maßnahme war jedoch ernstlich nachteilig dadurch, daß die Oberfläche des Gegenstands zerstört werden konnte. Nimmt man z.B. an, daß der Abtaster eine Spitze mit einem Durchmesser von 10 Mikron hat, so ruft selbst eine Berührungskraft, die nur ein Gramm beträgt, in dem Teil der Oberfläche des Gegenstands, welchen der Abtaster berührt, einen Druck von einigen Hundert Kilogramm je Quadratzentimeter hervor, wodurch die Oberfläche des Gegenstands zerstört oder verkratzt werden kann.

So haben sogenannte kontaktlose Abtastsysteme, welche anstatt des mechanischen Abtasters einen Strahl Laserlicht benutzen, die Vorteile hoher Meßgenauigkeit und eines guten Wirkungsgrades oder der Abnahme der Meßzeit und daher einen weitgestreuten Anwendungsbereich. Sie sind z.B. außer für die Bestimmung der geometrischen Form von Tonmodellen für Kraftfahrzeuge und für die Prüfung der geometrischen Form und Oberflächenrauigkeit von Präzisionsteilen in verschiedenen Gebieten der Industrie anwendbar, z.B. in dem Fall, in dem ein Teil unter dauernder Messung seiner Abmessungen in einer Drehbank gefertigt wird, bis die gewünschten Abmessungen erreicht sind, ohne daß die Drehbank dazwischen abgeschaltet wird. Die konventionelle Art von kontaktlosen Abtastsystemen, auf die bisher Bezug genommen wurde, hat den Nachteil, daß die gleiche Länge der Bewegung verschiedene Ausgangsspannungen hervorruft, kann, daß die Ausgangsspannung Null nicht nur

- 3 -

im Brennpunkt einer Suchlinse, sondern auch auf beiden Seiten entfernt vom Brennpunkt auftritt, und daß, wenn sich das System auf einer dieser beiden Seiten befindet, das zugehörige Servosystem nicht mehr arbeitsfähig ist, wodurch es für das System schwierig wird, wieder den Brennpunkt der Suchlinse aufzusuchen. Ein Beispiel eines bekannten Systems wird ausführlich im Zusammenhang mit Fig. 1 beschrieben werden.

Ziel der Erfindung ist es, ein neues und verbessertes kontaktloses Abtastsystem zur Verfügung zu stellen, das Laserlicht benutzt und eine kontinuierliche Arbeitsweise aufweist, welche sowohl hohe Sicherheit als auch einen guten Wirkungsgrad hat. Dabei soll das System unabhängig von dem Abstand zwischen einer Suchlinse und einem auszumessenden Gegenstand in seiner Arbeitsweise verläßlich sein.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das System einen Signalspalter zur Spaltung des elektrischen Ausgangssignals in ein Gleichspannungs- und ein Wechselspannungssignal, Verstärkungsregler zur Regelung der Verstärkungen des Gleich- und Wechselspannungssignals entsprechend der Intensität des reflektierten Lichtstrahls, einen Phasendetektor zur Erfassung der Phase des verstärkungsgeregelten Wechselspannungssignals während der Benutzung einer die Schwingung des Nadellochs darstellenden elektrischen Wellenform als Bezugssignals, je einen Niveau- und Polaritätsbestimmungskreis zur Bestimmung des Ausgangsniveaus des verstärkungsgeregelten Gleichspannungssignals und der Polarität der Ausgangsgröße des Phasendetektors, um den Arbeitsbereich des Systems zu bestimmen, und einen Servomotor enthält, der durch den Ausgang des Phasendetektors gesteuert wird, um einen konstanten Abstand zwischen der

-4-

der Suchlinse und dem Gegenstand aufrecht zu erhalten und hierdurch die geometrische Form des Gegenstands zu bestimmen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß es eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Strahles parallelen Lichts, eine erste Linse zur Sammlung des Strahles parallelen Lichts von der Lichtquelle auf einen Punkt auf der Oberfläche eines zu vermessenden Gegenstandes, wobei die erste Linse den vom Punkt der Oberfläche des Gegenstands reflektierten Lichtstrahl parallel bricht, einen ersten halbdurchlässigen Spiegel für die Reflexion des parallel gerichteten Lichtstrahles aus der ersten Linse, einen zweiten halbdurchlässigen Spiegel zur Übertragung eines Teils des parallel gerichteten und vom ersten Spiegel reflektierten Lichtstrahles und zur Reflexion des verbleibenden Teils des parallelgerichteten Lichtstrahles, eine zweite Linse zur Fokkussierung des durch den zweiten halb durchlässigen Spiegel gehenden Lichtes, eine Nadellochplatte, welche normalerweise im Brennpunkt der zweiten Linse angeordnet ist und in einer Richtung im wesentlichen parallel zur optischen Achse der zweiten Linse schwingen kann, um die Intensität des Lichtstrahls aus der zweiten Linse zu modulieren, einen ersten Lichtfühler zur Aufnahme des in seiner Intensität modulierten Lichtstrahles und zur Erzeugung eines elektrischen Signals, einen Signalspalter zur Aufnahme des elektrischen Signals und zu dessen Spaltung in einen Wechselspannungssignalteil und in einen Gleichspannungssignalteil, einen zweiten Lichtfühler zur Aufnahme des von dem zweiten halbdurchlässigen Spiegel reflektierten Lichtstrahles und zur Erzeugung eines Gleichspannungssignals, zwei Verstärkungsregler, welche auf das Gleichspannungssignals aus dem

zweiten Lichtfühler zur Regelung der Verstärkung des durch den Signalspalter erzeugten Wechsel- bzw. Gleichspannungssignalsteils ansprechen, einen Phasendetektor zur Erfassung der Phase des Wechselspannungssignalsteils des einen Verstärkungsreglers einen Niveaubestimmungskreis zur Bestimmung des Niveaus des Gleichspannungssignals aus dem anderen Verstärkungsregler, einen Polaritätsbestimmungskreis zur Bestimmung, ob die Ausgangsgröße des Phasendetektors positiv oder negativ ist, einen beweglichen Abtasttisch, auf welchem das genannte optische System angeordnet ist, und einen Regelgenerator enthält, welcher auf das Ergebnis der durch die Niveau- und Polaritätsbestimmungskreise durchgeführten Bestimmungen anspricht und ein Steuersignal an den beweglichen Abtasttisch weitergibt.

Weitere Merkmale und besondere Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der Beschreibung der Zeichnung.

Die Erfindung wird besser ersichtlich aus der folgenden Beschreibung im Zusammenhang mit der Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines kontaktlosen Abtastsystems entsprechend dem Stand der Technik.

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen kontaktlosen Abtastsystems.

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Wellenform der optischen Ausgangsgröße des Nadellochs in Fig. 1 und 2 und die Wellenformen einer modulierten Ausgangsgröße des Lichtfühlers in Fig. 1 und 2.

Fig. 4 ein Schaltbild des Phasendetektors nach Fig. 1 und 2.

Fig. 5 eine graphische Darstellung der Ausgangskennlinien des Phasendetektors nach Fig. 4.

Fig. 6 eine graphische Darstellung von Niveauekennlinien eines Gleichspannungssignales infolge aus dem Nadelloch austretenden Lichts.

Fig. 7 eine graphische Darstellung der Ausgangskennlinien des zweiten Lichtfühlers nach Fig. 2 und

Fig. 8 eine graphische Darstellung der Wellenform eines Steuersignals, welches durch das in Fig. 2 gezeigte System erzeugt wird.

In Fig. 1 der Zeichnung ist ein kontaktloses Abtastsystem konventionellen Aufbaus gezeigt. Es besteht aus einer Lichtquelle 10, wie etwa einer Laservorrichtung zur Erzeugung eines Strahles parallelen Lichts, einer halb versilberten Platte oder einem halbdurchlässigen Spiegel 12, welcher unter einem Winkel von im wesentlichen  $45^\circ$  zur Achse des Strahles parallelen Lichts von der Lichtquelle 10 angeordnet ist, um den Lichtstrahl zu übertragen, und einer Suchlinse 14 zum Sammeln des Lichtstrahles, welcher durch den Spiegel 12 auf einen Punkt auf der Oberfläche des zu messenden Gegenstandes 16 übertragen wird. Das auf einen Punkt des Gegenstands 16 gesammelte Licht wird von diesem in Richtung der Linse 14 reflektiert, welche ihrerseits das reflektierte Licht in einen Strahl parallelen Lichts ausrichtet. Dieser ausgerichtete oder parallele Lichtstrahl wird zumindest teilweise von dem halbdurchlässigen Spiegel 12 in Richtung einer Sammellinse 18 reflektiert, deren optische Achse

- 7 -

im wesentlichen senkrecht zu derjenigen der Suchlinse 14 steht. Die Linse 18 dient dazu, das vom Spiegel 12 reflektierte Licht in ihrem Brennpunkt zu sammeln.

Das System enthält ferner eine Nadellochplatte 20 mit einem Nadelloch 20a, welches normalerweise im Brennpunkt der Linse 18 angeordnet ist, und einen Lichtfühler 22, wie etwa eine Fotozelle, der so angeordnet ist, daß er eine aus dem Nadelloch 20a austretende Lichtmenge empfängt. Die Nadellochplatte 20 ist funktionell mit einem Vibrator 24 aus einem später klar werdenden Grund verbunden.

Alle oben beschriebenen Teile mit Ausnahme des Gegenstands 16 sind auf einem beweglichen Abtasttisch 26 in drei orthogonalen Richtungen beweglich angeordnet. Dabei ist die x-Richtung parallel zur optischen Achse der Linse 18, die y-Richtung parallel zur optischen Achse der Linse 14 und die z-Richtung senkrecht zu den x- und y-Richtungen in einer Weise, wie es später beschrieben werden wird. Wie in Fig. 1 gezeigt, ist außerhalb des Abtasttisches 26 ein Steuerkreis 28 zur Steuerung des Vibrators 24 angeordnet.

Durch den Vibrator 24 wird die Nadellochplatte 20 und damit deren Nadelloch parallel zur optischen Achse der Linse 18 in einem begrenzten kleinen Bereich aus einem Grund in Schwingungen versetzt, der später klar werden wird. Der Steuerkreis 28 ist mit einem Phasendetektor 30 verbunden, welcher außerdem mit dem Ausgang des Lichtfühlers 22 verbunden ist. Der Phasendetektor 30 ist mit einem Servosteuerkreis 32 verbunden, der einen Servomotor 34 für den Antrieb des Abtasttisches 26 steuert.

Unter der Annahme, daß der Punkt auf dem Gegenstand 16 im Abstand der Brennweite  $f_1$  der Linse 14 von der Linse 14



entfernt liegt, arbeitet diese so, daß der Strahl parallelen Lichts von der Lichtquelle 10 auf diesen Punkt übertragen wird und daher eine maximale Lichtmenge durch das Nadelloch 20a geht. Wenn der Gegenstand 16 zur Linse 14 hin oder von ihr weg bewegt wird und hierdurch der Abstand zwischen beiden nicht mehr der Brennweite  $f_1$  der Linse 14 entspricht, wird die aus dem Nadelloch austretende Lichtmenge abnehmen. Wenn die Nadellochplatte 20 und damit ihr Nadelloch 20a stationär bleiben, wird sich die aus dem Nadelloch austretende Lichtmenge entsprechend der in Fig. 3 mit "Licht" bezeichneten Kurve ändern, wobei längs der Koordinatenachse die aus dem Nadelloch 20a austretende Lichtmenge und längs der Abszissenachse die Abweichung  $y_1$  des Abstandes zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14 von der Brennweite  $f_1$  der letzteren, gemessen in der oben beschriebenen y-Richtung, aufgetragen ist.

Die Abweichung  $y_1$  ist positiv, wenn der Gegenstand außerhalb der Brennweite  $f_1$  und negativ, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite liegt.

Wie oben beschrieben, schwingt das Nadelloch 20a entlang der optischen Achse der Linse 18. Selbst wenn daher der Abstand zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14 gleich der Brennweite der Linse 14 gehalten wird, ist die aus dem Nadelloch 20a austretende Lichtmenge in der Intensität oder Helligkeit moduliert, und der Lichtfühler 22 wird eine Ausgangsgröße erzeugen, die entsprechend mit der Schwingfrequenz der Nadellochplatte 20 moduliert ist. Fig. 3 zeigt auch die mit "Ausgang" bezeichneten Wellenformen der modulierten Ausgangsgröße des Lichtfühlers 20 bei verschiedenem Niveau des aus dem Nadelloch 20a austretenden Lichts auf der Außenseite der Kurve "Licht" und die ent-

sprechenden Wellenformen des schwingenden Nadellochs innerhalb der mit "Licht" bezeichneten Kurve, welche ihrerseits mit "Vibration" bezeichnet sind.

Wie in Fig. 3 gezeigt, ist die Ausgangswellenform des Lichtfühlers 22 in Phase mit der Schwingungswellenform des Nadellochs 20a, wenn die Abweichung  $y_1 < 0$ , und die Gegenphase zur Schwingungswellenform, wenn  $y_1 > 0$  ist. Für  $y_1 = 0$  hat die Ausgangswellenform die doppelte Frequenz der Schwingungswellenform. Weiter hat die Ausgangswellenform des Lichtfühlers 22 eine von der Größe der Abweichung  $y_1$  abhängige Amplitude. Genauer gesagt erscheint ein Punkt, wo die Ausgangswellenform eine maximale Amplitude hat, auf jeder Seite der Kurve "Licht" für den Austritt von Licht aus dem Nadelloch 20a oder für jede der Schwingungswellenformen, welche identisch und in der Phase entgegengesetzt zur Ausgangswellenform des Lichtfühlers 22 sind. Wenn sich der Arbeitspunkt auf der Kurve von dem Punkt, dem die maximale Amplitude entspricht, entfernt, nimmt die Ausgangswellenform progressiv in der Amplitude ab. Die Phasenerfassung des Ausgangs des Lichtfühlers 22 ergibt daher eine solche Wellenform, deren Amplitude bei  $y_1 = 0$  ist und sowohl in der positiven als auch in der negativen  $y$ -Richtung zu einem Maximum zunimmt und hierauf progressiv auf Null zurückgeht.

Die Phasenerfassung der Ausgangswellenform des Lichtfühlers 22 kann durch einen Phasendetektor 30, wie in Fig. 4 gezeigt, erfolgen. Die gezeigte Anordnung enthält einen Transformator T mit einer Primärwicklung und einer Sekundärwicklung mit Mittelanzapfung, die mit einem Paar Transistoren  $Q_1$  und  $Q_2$  verbunden ist. Die Emittierelektroden der beiden Transistoren sind jeweils mit einem der äußeren Enden

der Sekundärwicklung des Transformators verbunden, während die Kollektorelektroden zusammen über einen Lastwiderstand  $R_L$  mit der Mittelanzapfung der Sekundärwicklung verbunden sind. Über entsprechende Basiswiderstände  $R_1$  und  $R_2$  ist jede Basis der Transistoren  $Q_1$  und  $Q_2$  mit einer Bezugsklemme verbunden. Um eine augenblickliche Polarität einer Spannung über jeder Windung des Transformators  $T$  anzuzeigen, wird die konventionelle Punktmethode benutzt. Die Mittelanzapfung der Sekundärwicklung des Transformators ist außerdem über einen RC-Gleichrichter oder Filter, der aus einem Reihenwiderstand  $R$  und einem Parallelkondensator  $C$  besteht, mit einer Ausgangsklemme verbunden.

Wenn die Bezugsklemme durch den Steuerkreis 28 einen rechteckigen Bezugsimpuls erhält, wird entsprechend der Polarität des Impulses einer der Transistoren  $Q_1$  oder  $Q_2$  auf EIN und der andere auf AUS geschaltet. In Fig. 4 sind die Bezugsimpulse neben der Bezugsklemme gezeigt. Im Beispiel sind die Transistoren  $Q_1$  und  $Q_2$  als PNP- und NPN-Transistoren gezeigt, welche durch einen positiven Bezugsimpuls AUS bzw. EIN geschaltet und durch einen solchen negativen Impuls EIN bzw. AUS geschaltet werden. Wenn ein dem Bezugsimpuls phasengleiches Eingangssignal, wie es in Fig. 4 neben dem Eingang dargestellt ist, über den Eingang an die Primärwicklung des Transformators  $T$  gelegt wird, entsteht eine positive Spannung am Ausgang. Wenn jedoch ein zum Bezugsimpuls gegenphasiges Eingangssignal an die Primärwicklung des Transformators angelegt wird, entsteht eine negative Spannung am Ausgang. Die Ausgangsspannung des Phasendetektors 30 ist in Fig. 5 gezeigt.

In Fig. 5 ist längs der Ordinatenachse die Ausgangsspannung des Phasendetektors 30 aufgetragen. Die Abszissen-

- 11 -

achse hat die gleiche Bedeutung wie in Fig. 3, ausgenommen daß die Abszisse in der Größe durch die Brennweite  $f_1$  der Suchlinse 14 zunimmt. Wie in Fig. 5 gezeigt, erzeugt der Phasendetektor 30 eine Nullspannung für  $y_1 = 0$ , wenn sich der Gegenstand 16 in der Entfernung  $f_1$  von der Linse 14 befindet. Dies kommt daher, weil das Ausgangssignal des Lichtfühlers 22, wie im Zusammenhang mit Fig. 3 beschrieben, für  $y_1 = 0$  in der Frequenz verdoppelt wird. Der Phasendetektor 30 ist dann so entworfen, und angeordnet, daß ein Eingangssignal mit der doppelten Frequenz gegenüber dem Bezugssignal eine Nullspannung hervorruft.

In Fig. 5 sind verschiedene Kurven mit den Bezugszeichen a, b und c zu sehen. Es wird nun angenommen, daß der Phasendetektor 30 eine Ausgangsgröße wie die Kurve a in Fig. 5 aufweist. Es wird weiter angenommen, daß die optische Ausgangsgröße der Lichtquelle 10 aus irgendeinem Grund um z.B. etwa den Faktor 3 abgenommen hat. Dies hat zur Folge, daß die Lichtmenge, welche von dem Gegenstand 14 reflektiert wird und somit durch das Nadelloch 20a austritt, auf eine Menge abnimmt, die etwa einem Drittel der ursprünglichen Lichtmenge entspricht. Die Ausgangsspannung am Phasendetektor 30 wird daher etwa ein Drittel der Ausgangsspannung sein, die auftrat, ehe die Intensität oder Helligkeit der Lichtquelle geändert wurde. Diese Spannung ist in der Kurve c in Fig. 5 gezeigt.

Auch kann sich die Oberfläche des Gegenstandes 16 ändern in Bezug auf den Reflektionsgrad, die Farbe und/oder eine Neigung des gemessenen Oberflächenteils unter einem Winkel gegenüber einer Bezugsebene von Punkt zu Punkt. Solch Änderungen rufen ebenfalls eine Änderung der Ausgangsspannung des Phasendetektors 30 hervor.

-12-

- 12 -

Wenn der Abtasttisch 26 in der y-Richtung bewegt wird, um den Abstand zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14 zu ändern, entsteht am Phasendetektor 30 eine Ausgangsspannung, die einer solchen Kurve folgt, wie sie in Fig. 5 gezeigt ist. Die Ausgangsspannung wird dann einem Servosteuerring 32 zugeführt, um einen Servomotor 34 zu steuern. Der Servomotor 34 hat die Funktion, den Abstand zwischen der Linse 14 und dem Gegenstand 16 auf einer vorherbestimmten festen Größe zu halten.

Um die geometrische Form des Gegenstands 16 zu bestimmen, wird der Abtasttisch 26 mit einer vorbestimmten festen Geschwindigkeit in der x-Richtung bewegt und setzt hierbei den Abstand zwischen dem Gegenstand 16 und der Linse 14 in eine Bewegung des Tisches in der y-Richtung um, wobei eine Messung der geometrischen Form des Gegenstands 16 vorgenommen wird. Hierauf wird der oben beschriebene Vorgang in der z-Richtung wiederholt.

Das dargestellte System ist dadurch ernstlich nachteilig, daß der Phasendetektor verschiedene Ausgangsspannungen für die gleiche Entfernung der Bewegung des Abtasttisches vom Gegenstand erzeugen kann, wobei eine derartige Ausgangsspannung tatsächlich abhängt vom Material des gemessenen Gegenstandes, vom Neigungswinkel des gemessenen Bereiches gegenüber einer Bezugsebene usw. Zusätzlich erzeugt der Phasendetektor eine Nullspannung nicht nur für den Fall, daß der Gegenstand im Brennpunkt der Suchlinse 14 liegt, sondern auch dann, wenn er auf beiden Seiten vom Brennpunkt entfernt in einem Bereich liegt, wie er in Fig. 5 schraffiert gezeichnet ist.

-13-

Aus Fig. 5 ist weiter zu sehen, daß der Phasendetektor für zwei verschiedene Entfernungen zwischen dem Gegenstand 16 und der Linse 14 die gleiche Ausgangsgröße erzeugt. Dies führt zur Zweideutigkeit bei der Bestimmung der Entfernung.

Es ist leicht zu verstehen, daß das System automatisch aufeinanderfolgende Punkte suchen muß, die von der Linse 14 den Abstand der Brennweite  $f_1$  haben und hierbei diesen Punkten automatisch folgen muß. Wenn das System jedoch einmal in einen Bereich eingetreten ist, der einem der schraffierten Bereiche in Fig. 5 entspricht, wird der zugehörige Servomechanismus angehalten. Für die konventionellen kontaktlosen Abtastsysteme, wie in Fig. 1 gezeigt, ist es schwierig gewesen, Punkte im Abstand der Brennweite von der Suchlinse zu suchen, nachdem sie in einem Bereich eingetreten waren, der einem der schraffierten Bereiche in Fig. 5 entsprach.

Die Erfindung bezweckt die Vermeidung der oben genannten Nachteile und der Schwierigkeit, das System stabil und wirksam in kontinuierlicher Weise so zu betreiben, daß aufeinanderfolgend genaue Punkte gesucht werden, die von der Suchlinse den Abstand deren Brennweite haben.

In Fig. 2 bezeichnen gleiche Bezugszeichen in Bezug auf Fig. 1 identische Teile. Es ist hier eine Ausführungsform des kontaktlosen Abtastsystems entsprechend der Erfindung gezeigt. Zusätzlich zu den Teilen 10 bis 22 von Fig. 1 enthält diese Anordnung einen halbdurchlässigen Spiegel 40 ähnlich dem Spiegel 12, eine Sammellinse 42 und einen Lichtfühler 44 ähnlich dem Lichtfühler 22 auf dem Abtasttisch 26. Der Spiegel 40 ist unter einem Winkel

- 14 -

von im wesentlichen  $45^\circ$  zur optischen Achse der Linse 18 angeordnet, um einen Teil des vom Spiegel 12 reflektierten parallelen Lichtstrahls in Richtung der Sammellinse 18 zu übertragen und den verbleibenden Teil des parallelen Strahls in Richtung der Linse 42, die ihrerseits diesen Teil auf dem Lichtfühler 44 sammelt. Wie in Fig. 1 moduliert die schwingende Nadellochplatte 20 die durch ihr Nadelloch 20a gehende Lichtmenge mit ihrer Schwingungsfrequenz. Der Lichtfühler 22 erzeugt daher eine Ausgangsgröße, die eine Wechselspannungskomponente, moduliert mit der Schwingungsfrequenz der Nadellochplatte 20, und eine Gleichspannungskomponente, veränderlich entsprechend dem Abstand zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14, enthält. Die Wechselspannungskomponente kann im folgenden "Wechsel-signal" und die Gleichspannungskomponente "Gleich-signal" genannt werden.

Der Ausgang des Lichtfühlers 22 wird auf einen Signalspalter 46 gegeben, welcher außerhalb des Abtasttisches 26 angeordnet ist. Hier wird die Ausgangsgröße in ein Wechsel- und Gleichsignal gespalten. Die Wechsel- und Gleichsignale von dem Signalspalter 46 werden dann auf ein Paar Verstärkungsregler 48 bzw. 50 gegeben, wo ihre Verstärkungsfaktoren, wie später zu beschreiben ist, geregelt werden. Das verstärkungsgeregelte Wechsel-signal wird auf den Phasendetektor 30 gegeben, wo seine Phase in der gleichen Weise wie im Zusammenhang mit Fig. 3 und 4 beschrieben mit dem Ergebnis erfaßt wird, daß eine Ausgangsgröße wie in Fig. 5 gezeigt, entsteht. Die Ausgangsgröße des Phasendetektors 30 wird über einen Servosteuerkreis 32 auf einen Servomotor 34 gegeben, um die Bewegung des Abtasttisches 26 in der gleichen Weise wie vorher beschrieben zu steuern.

-15-

Andererseits ruft das dem Verstärkungsregler 50 zugeführte Gleichsignal eine verstärkungsgeregelte Ausgangsgröße hervor, wie sie in Fig. 6 gezeigt ist, wobei längs der Ordinatenachse die Ausgangsgröße aufgetragen ist und die Abszissenachse die gleiche Bedeutung wie in Fig. 5 hat.

Um die Verstärkungen der Verstärkungsregler 48 und 50 zu regeln, wird der Lichtfühler 44 mit ihnen verbunden. Genauer ausgedrückt nimmt der Lichtfühler 44 den gesamten aus der Linse 42 austretenden Lichtstrahl auf, um eine Gleichausgangsgröße zu erzeugen, die proportional der von dem Gegenstand 16 reflektierten Lichtmenge ist. Diese Ausgangsgröße ist in Fig. 7 gezeigt, wobei die Koordinaten- und Abszissenachsen die gleiche Bedeutung wie in Fig. 5 und 6 haben.

In Fig. 5, 6 und 7 ist zu bemerken, daß die dargestellten Spannungsniveaus  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  (siehe Fig. 5),  $E_1'$ ,  $E_2'$ ,  $E_3'$  (siehe Fig. 6),  $E_1''$ ,  $E_2''$ ,  $E_3''$  (siehe Fig. 7) so vorgewählt sind, daß folgende Beziehung gilt:

$$E_1 : E_2 : E_3 = E_1' : E_2' : E_3' = E_1'' : E_2'' : E_3'' .$$

Das bedeutet, daß unter der Annahme, daß sich die Gleichspannung aus dem Lichtfühler 44 z.B. auf dem Niveau  $E_3''$  oder auf einer mit  $c''$  bezeichneten Linie (siehe Fig. 7) befindet, die Verstärkungsregler 48 und 50 so in der Verstärkung geregelt werden, daß der Phasendetektor 30 eine Ausgangsspannung des Niveaus  $E_3$  oder der mit  $c$  (siehe Fig. 5) bezeichneten Kurve folgend abgibt und gleichzeitig der Verstärkungsregler 50 eine Ausgangsspannung auf dem Niveau  $E_3'$



oder der Kurve  $c'$  (siehe Fig. 6) folgend entsprechend der Änderung des Abstandes zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14 erzeugt.

Es wird nun angenommen, daß das System bei einem Spannungsniveau  $E_3$  betrieben werden soll und daß die Ausgangsgröße des Lichtfühlers 45 sich aus irgendeinem Grund vom Niveau  $E_3'$  auf ein hohes Niveau  $E_1'$  geändert hat. Unter diesen Bedingungen werden mittels der Ausgangsspannung des Lichtfühlers 44 die Verstärkungen der Verstärkungsregler 48 und 50 so geregelt, daß der Phasendetektor 30 eine im Niveau verminderte Ausgangsspannung der Größe  $E_3$  statt  $E_1$  aufweist, während gleichzeitig die Ausgangsgröße des Verstärkungsreglers 50 in ihrem Niveau von der Größe  $E_1$  auf  $E_3$  abnimmt. Ähnlich werden für den Fall, daß das von dem Lichtfühler 44 erzeugte Spannungsniveau kleiner als die Größe  $E_3'$  wird, die niedrigeren Niveau auf  $E_3$  und  $E_3$  angehoben. Derart werden die Ausgangsgrößen der Verstärkungsregler 48 und 50 so geregelt, daß an den Ausgängen des Phasendetektors 30 und des Verstärkungsreglers 50 eine Ausgangsspannung entsteht, die den Kurven  $c$  bzw.  $c'$ , wie in Fig. 5 und 6 gezeigt, kontinuierlich folgt.

Die Ausgangsgröße des Verstärkungsreglers 50, welche dem Gleichsignal entspricht, wird einem Niveaubestimmungskreis 52 zugeführt, wo ihr Niveau mit einem Bezugsniveau verglichen wird. Um die Zweideutigkeit bei der Bestimmung des Abstandes zwischen dem Gegenstand 16 und der Suchlinse 14 zu vermeiden, ist das System so vorgewählt, daß es innerhalb des Bereichs arbeitet, welcher einem Bereich der Ausgangsgröße des Phasendetektors von einer Spitze zur anderen der Kurven in Fig. 5 entspricht. Dieser Arbeitsbereich ist in Fig. 5, 6 und 7 als durch ein Paar vertikaler gestrichel-

- 17 -

ter Linien durch die Punkte  $y_1 = f_1 + Y_1$  und bzw.  $y_1 = f_1 - Y_1$  bestimmt gezeigt. Wie in den Fig. klar zu sehen, ändert sich die Ausgangsgröße innerhalb des oben genannten Bereiches als eine im wesentlichen lineare Funktion des Abstandes zwischen dem Gegenstand 16 und der Linse 14.

Wenn der Arbeitsbereich des Systems wie oben beschrieben einmal bestimmt worden ist, wird im Niveaubestimmungskreis 52 vorzugsweise ein solches Bezugsspannungsniveau festgelegt, wie es, wie in Fig. 6 gezeigt, einer Linie durch die Schnittpunkte der vertikal gestrichelten Linien mit der Kurve  $c'$  mit dem Niveau  $E_3'$  entspricht. Das Niveau  $E_3'$  entspricht der oben beschriebenen geforderten Verstärkung des Systems. Wie in Fig. 6 gezeigt, sind die Kurven symmetrisch in bezug auf eine vertikale Linie durch einen Punkt  $y = f_1$ , so daß Bezugsniveau durch eine länggestrichelte Linie parallel zur Ordinatenachse und bezeichnet mit der Bezugsgröße  $E_4$  dargestellt wird.

Wenn das dem Niveaubestimmungskreis 52 zugeführte Signal als von höherem Niveau als das Bezugsniveau  $E_4$  bestimmt wird, entsteht am Ausgang des Kreises 52 eine positive Ausgangsgröße, welche anzeigt, daß das System im Arbeitsbereich betrieben wird. Wenn umgekehrt das Niveau des dem Kreis 52 zugeführten Signals kleiner als das Bezugsniveau  $E_4$  ist, gibt der Kreis eine negative Ausgangsgröße ab und zeigt so an, daß das System außerhalb des Arbeitsbereiches betrieben wird.

Andererseits ist der Ausgang des Phasendetektors 30 immer an einem Punkt der Kurve  $c$  mit dem Niveau  $E_3$  wie in Fig. 5 gezeigt, d.h., er kann entsprechend dem Abstand

-18-

zwischen dem Gegenstand 16 und der Linse 14 positiv oder negativ sein. Es ist daher erforderlich, daß die Polarität des Ausgangs bestimmt wird. Aus diesem Grunde ist der Phasendetektor 30 mit einem Polaritätsbestimmungskreis 54 verbunden. Wenn der Niveaubestimmungskreis 52 bestimmt hat, daß das System außerhalb des Arbeitsbereiches ist und wenn der Ausgang des Phasendetektors 30 positiv ist, erzeugt der Polaritätsbestimmungskreis 54 ein positives Ausgangssignal, welches anzeigt, daß sich der Abtasttisch 26 in einer Lage befindet, in welcher seine Abweichung  $\Delta Y$  von einem Punkt  $y_1 = f_1$  in der  $y$ -Richtung kleiner als  $(f_1 - Y_1)$  ist, d.h., daß sich der Tisch nahe der Linse 14 und außerhalb des Arbeitsbereiches befindet. Unter diesen Umständen erzeugt ein Regelgenerator 56, der von dem Polaritätsbestimmungskreis 54 gespeist wird, eine Regelspannung, um den Servosteuerkreis 32 so zu regeln, daß der Abtasttisch 26 durch den Servomotor 34 von der Linse 14 weg bewegt wird, bis er in seinen Arbeitsbereich eintritt.

Wenn im Gegensatz dazu der Ausgang des Phasendetektors 30 negativ ist, erzeugt der Polaritätsbestimmungskreis 54 eine negative Ausgangsspannung, welche anzeigt, daß sich der Abtasttisch 26 von der Linse 14 entfernt und außerhalb des Arbeitsbereiches befindet. Dies bewirkt, daß der Generator 56 eine Regelspannung abgibt, welche eine umgekehrte Polarität gegenüber dem vorausgegangenen Fall hat, wodurch der Abtasttisch 26 durch den Servomotor 34 in Richtung der Linse 14 bewegt wird, bis er in seinen Arbeitsbereich eintritt, ohne daß der Servosteuerkreis direkt vom Phasendetektor 30 beeinflusst wird.

- 19,-

Nachdem der Niveaubestimmungskreis 52 bestimmt hat, daß sich das System innerhalb seines Arbeitsbereiches befindet, steuert die Ausgangsgröße des Phasendetektors 30 direkt den Servosteuerkreis 32, um den Abtasttisch 26 in der bereits beschriebenen Weise in seiner Position zu halten, welche durch  $y_1 = f_1$  dargestellt ist.

Fig. 8, bei der längs der Ordinatenachse das Spannungsniveau und längs der Abszissenachse der Abstand zwischen Gegenstand und Suchlinse aufgetragen ist, zeigt eine Wellenform der Regelspannung, wie sie durch das vorliegende System erzeugt wird. Die Teile T - P und U - Q der Wellenform zeigen die Spannungsniveau, welche durch den Regelgenerator 56 erzeugt werden, wenn der Niveaubestimmungskreis 52 bestimmt hat, daß sich das System außerhalb des Arbeitsbereiches befindet. Der Teil P - U - Q zeigt das Spannungsniveau, das direkt vom Phasendetektor 30 erzeugt wird, wenn der Niveaubestimmungskreis 52 bestimmt hat, daß sich das System innerhalb seines Arbeitsbereiches befindet. Der Teil P - U - Q geht weich in die benachbarten Enden der Teile T - P und U - Q über. Die gestrichelten Linien RP und SQ zeigen das Spannungsniveau, welches durch den Spannungsdetektor 30 erzeugt wird, wenn die Niveau- und Polarisitätsbestimmungskreise 52 bzw. 54 mit ihren zugehörigen Teilen nicht vorhanden sind.

Aus dem Vorhergegangenen ist zu erkennen, daß die Erfindung ein kontaktloses Abtastsystem zur Verfügung gestellt hat, das in der Lage ist, unabhängig von seiner Lage dem Brennpunkt einer Suchlinse im System zu folgen.

- 20 -

Die Erfindung hat verschiedene Vorteile. Z.B. übt sie immer ihre Regelfunktion aus und erweitert den offensichtlichen Arbeitsbereich stark, weil der Arbeitsbereich sowohl durch das Ausgangsniveau einer Gleichspannung bestimmt wird, welche in der Ausgangsgröße des Lichtfühlers enthalten ist und deren Verstärkung automatisch aufgrund eines Teiles der vom gemessenen Gegenstand reflektierten Lichtmenge geregelt wird, als auch durch die Polarität der Ausgangsgröße eines im System enthaltenen Phasendetektors.

Zusammengefaßt ist die Erfindung dadurch bestimmt, daß von einem Gegenstand reflektiertes, durch Linsen ausgerichtetes Licht durch ein schwingendes Nadelloch in eine Wechsel- und Gleichkomponente umgesetzt wird, deren Verstärkungen durch die Lichtintensität geregelt werden. Die Polarität der erfaßten Phase der Wechselkomponente wirkt zusammen mit dem Niveau der Gleichkomponente, um zu bestimmen, ob sich das System innerhalb seines Arbeitsbereiches befindet. Befindet sich das System außerhalb des Arbeitsbereiches, so bewirken die in der Phase erfaßte Komponente und das Gleichniveau, daß das System in den Arbeitsbereich eintritt. Wenn sich das System in seinem Arbeitsbereich befindet, wird es durch die Komponente, deren Phase erfaßt wird, so geregelt, daß es in seiner vorbestimmten Lage bleibt.

-21-

009814/1489

# P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Kontaktloses Abtastsystem zur Bestimmung der geometrischen Form eines zu messenden Gegenstands, welches eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Strahles parallelen Lichts, eine Linse zum Sammeln des Strahles parallelen Lichts der Lichtquelle auf einen Punkt auf der Oberfläche des Gegenstands, ein Nadelloch, das den vom Punkt der Oberfläche des Gegenstands reflektierten Lichtstrahl aufnimmt und in einer Richtung im wesentlichen parallel zur optischen Achse des reflektierten Lichtstrahles schwingt, um die Intensität des reflektierten Lichtstrahles zu modulieren, sowie einen Lichtfühler zur Erfassung der Intensität des durch das Nadelloch modulierten Lichts und zur Erzeugung einer elektrischen Ausgangsgröße, enthält, dadurch gekennzeichnet, daß das System einen Signalspalter (46) zur Spaltung des elektrischen Ausgangssignals in ein Gleichspannungs- und ein Wechselspannungssignal, Verstärkungsregler (48, 50) zur Regelung der Verstärkungen des Gleich- und Wechselspannungssignals entsprechend der Intensität des reflektierten Lichtstrahls, einen Phasendetektor (30) zur Erfassung der Phase des verstärkungsgeregelten Wechselspannungssignals während der Benutzung einer die Schwingung des Nadellochs darstellenden elektrischen Wellenform als Bezugssignal, je einen Niveau- und Polaritätskreis (52, 54) zur Bestimmung des Ausgangsniveaus des verstärkungsgeregelten Gleichspannungssignals und der Polarität der Ausgangsgröße des Phasendetektors (30), um den Arbeitsbereich des Systems zu bestimmen, und einen Servomotor (34) enthält, der durch den Ausgang des Phasendetektors (30) gesteuert wird, um einen konstanten Abstand zwischen der Suchlinse (14) und dem Gegenstand (16) aufrecht zu erhalten und hierdurch die geometrische Form des Gegenstands zu bestimmen.

+bestimmungs

009814/1489

2. Kontaktloses Abtastsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Lichtquelle (10) zur Erzeugung eines Strahls parallelen Lichts, eine erste Linse (14) zur Sammlung des Strahles parallelen Lichts von der Lichtquelle (10) auf einen Punkt auf der Oberfläche eines zu vermessenden Gegenstandes (16), wobei die erste Linse (14) den vom Punkt der Oberfläche des Gegenstandes (16) reflektierten Lichtstrahl parallel bricht, einen ersten halbdurchlässigen Spiegel (12) für die Reflexion des parallel gerichteten Lichtstrahles aus der ersten Linse (14), einen zweiten halbdurchlässigen Spiegel (40) zur Übertragung eines Teils des parallel gerichteten und vom ersten Spiegel (12) reflektierten Lichtstrahles und zur Reflektierung des verbleibenden Teils des parallel gerichteten Lichtstrahles, eine zweite Linse (42) zur Fokussierung des durch den zweiten halbdurchlässigen Spiegel (40) gehenden Lichtes, eine Nadellochplatte (20), welche normalerweise im Brennpunkt der zweiten Linse (42) angeordnet ist und in einer Richtung im wesentlichen parallel zur optischen Achse der zweiten Linse (42) schwingen kann, um die Intensität des Lichtstrahls aus der zweiten Linse (42) zu modulieren, einen ersten Lichtfühler (22) zur Aufnahme des in seiner Intensität modulierten Lichtstrahles und zur Erzeugung eines elektrischen Signals, einen Signalspalter (46) zur Aufnahme des elektrischen Signals und zu dessen Spaltung in einen Wechselspannungssignalteil und in einen Gleichspannungssignalteil, einen zweiten Lichtfühler (44) zur Aufnahme des von dem zweiten halbdurchlässigen Spiegel (40) reflektierten Lichtstrahls und zur Erzeugung eines Gleichspannungssignals, zwei Verstärkungsregler (48, 50), welche auf das Gleichspannungssignal aus dem zweiten Lichtfühler (44) zur Regelung der Verstärkung des durch den Signalspalter (46) erzeugten Wechsel- bzw. Gleichspannungssignalteils ansprechen, einen

Phasendetektor (30) zur Erfassung der Phase des Wechselspannungssignalteils des einen Verstärkungsreglers (48), einen Niveaubestimmungskreis (52) zur Bestimmung des Niveaus des Gleichspannungssignals aus dem anderen Verstärkungsregler (50), einen Polaritätsbestimmungskreis (54) zur Bestimmung, ob die Ausgangsgröße des Phasendetektors (30) positiv oder negativ ist, einen beweglichen Abtasttisch (26); auf welchem das genannte optische System angeordnet ist und einen Regelgenerator (56) enthält, welcher auf das Ergebnis der durch die Niveau- und Polaritätsbestimmungskreise (52, 54) durchgeführten Bestimmungen anspricht und ein Steuersignal an den beweglichen Abtasttisch (26) weitergibt.



FIG.1

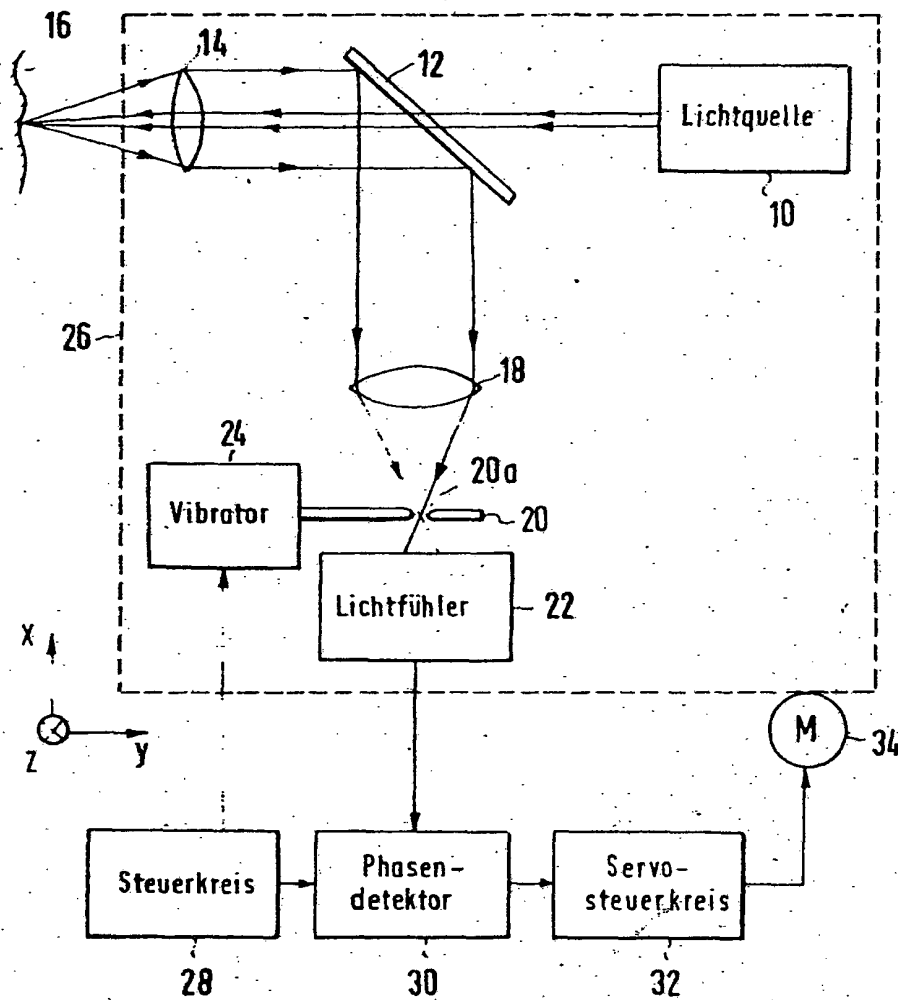


FIG. 2

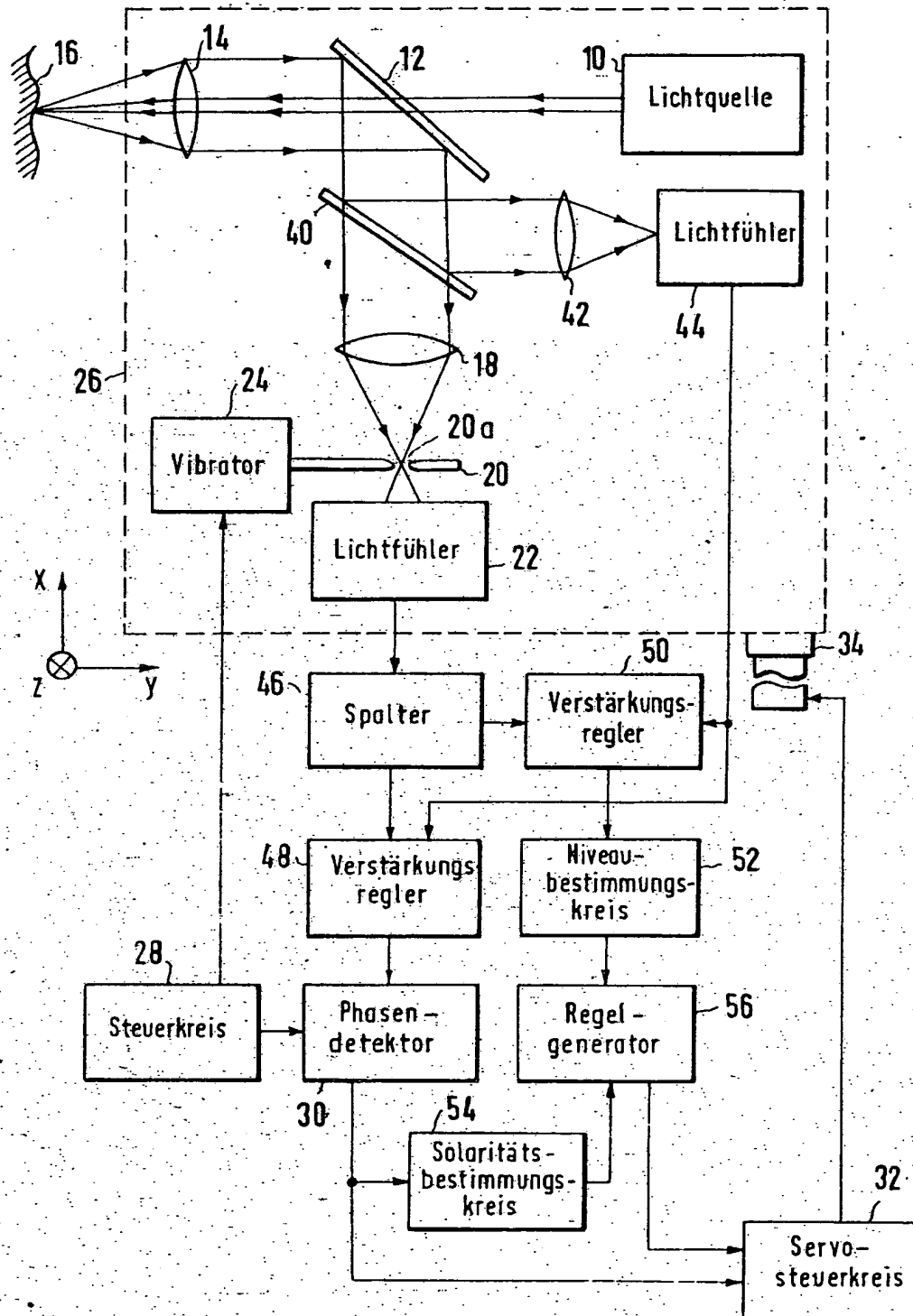


FIG. 3

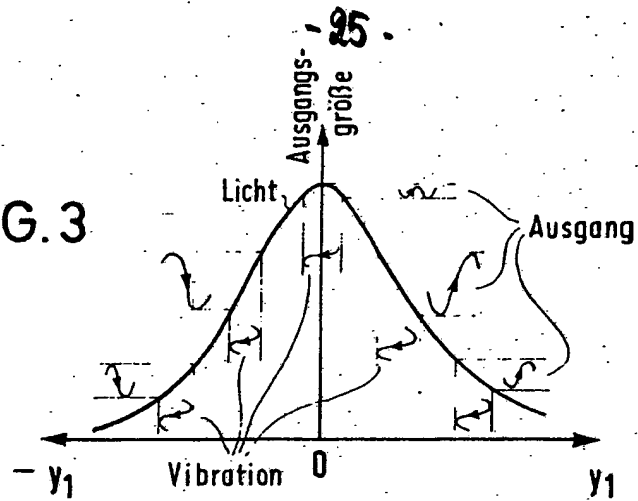


FIG. 4

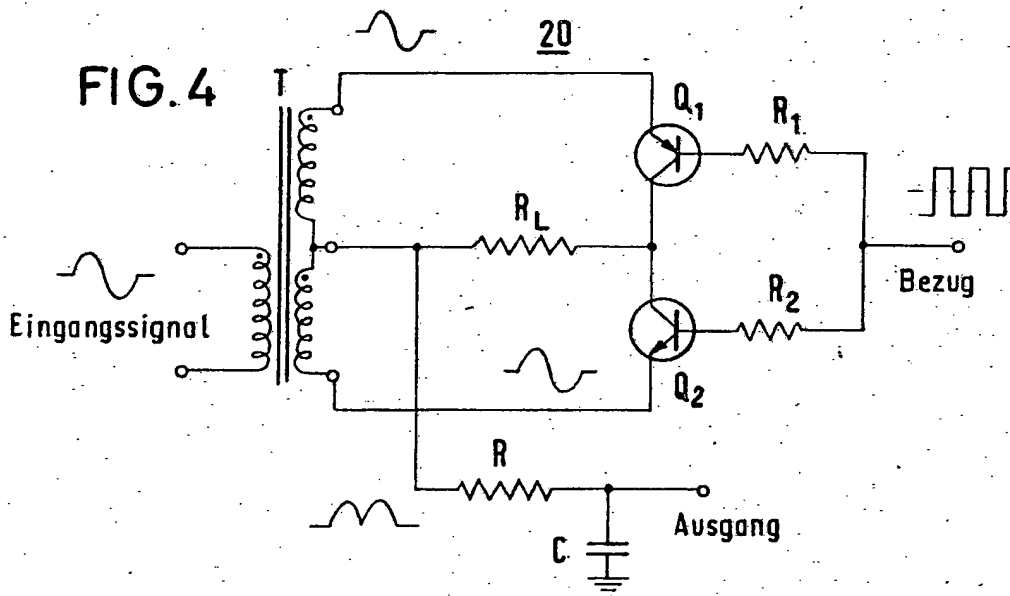
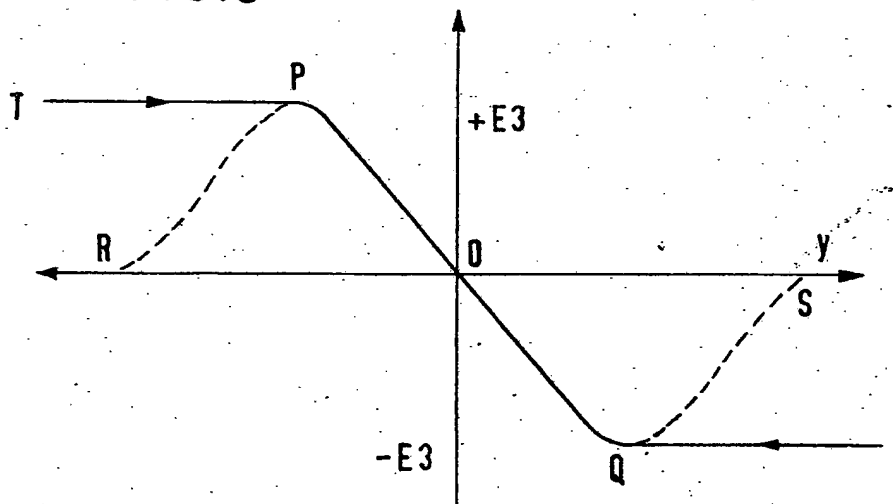


FIG. 8



-26-

FIG. 5

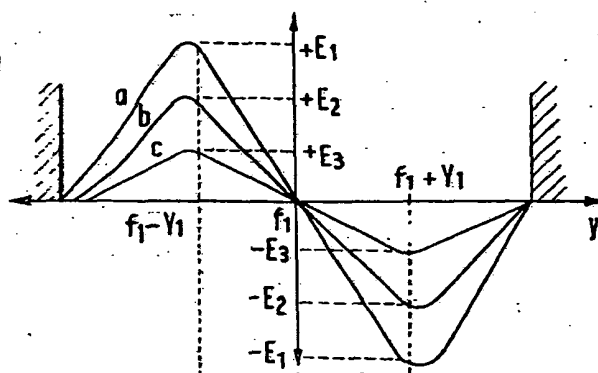


FIG. 6

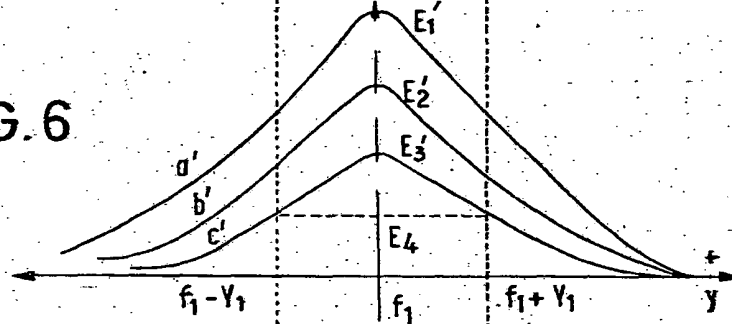


FIG. 7

